

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

JC971 U.S. PTO
10/087247
03/01/02

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 3月 2日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-058399

出 願 人

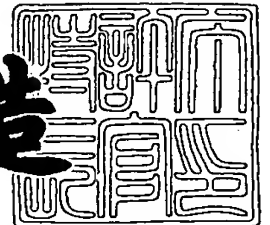
Applicant(s):

三星エスディアイ株式会社

2001年12月14日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3102182

【書類名】 特許願

【整理番号】 00122706

【提出日】 平成13年 3月 2日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01M 4/02

【発明の名称】 炭素質材料及びリチウム二次電池

【請求項の数】 7

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市鶴見区菅沢町 2 - 7 株式会社サムスン
横浜研究所 電子研究所内

【氏名】 松原 恵子

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市鶴見区菅沢町 2 - 7 株式会社サムスン
横浜研究所 電子研究所内

【氏名】 津野 利章

【発明者】

【住所又は居所】 大韓民国天安市聖域洞 5 0 8 サムスンエスディーアイ
株式会社内

【氏名】 沈 揆允

【特許出願人】

【識別番号】 598045058

【氏名又は名称】 株式会社サムスン横浜研究所

【代理人】

【識別番号】 100064908

【弁理士】

【氏名又は名称】 志賀 正武

【選任した代理人】

【識別番号】 100108578

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 詔男

【選任した代理人】

【識別番号】 100089037

【弁理士】

【氏名又は名称】 渡邊 隆

【選任した代理人】

【識別番号】 100101465

【弁理士】

【氏名又は名称】 青山 正和

【選任した代理人】

【識別番号】 100094400

【弁理士】

【氏名又は名称】 鈴木 三義

【選任した代理人】

【識別番号】 100107836

【弁理士】

【氏名又は名称】 西 和哉

【選任した代理人】

【識別番号】 100108453

【弁理士】

【氏名又は名称】 村山 靖彦

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008707

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9812566

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 炭素質材料及びリチウム二次電池

【特許請求の範囲】

【請求項1】 X線広角回折による(002)面の面間隔 d_{002} が0.337nm未満である黒鉛粒子の周りに、珪素及び炭素を少なくとも含有するとともに前記黒鉛粒子より粒径が小さな複合粒子が分散して配置され、かつ前記黒鉛粒子及び前記複合粒子が0.37nm以上の面間隔 d_{002} を有する非晶質炭素膜によって被覆されてなり、

前記複合粒子は、結晶質珪素からなるSi微粒子の周りに導電性炭素材が配置されるとともに前記Si微粒子及び前記導電性炭素材が硬質炭素膜により被覆されてなり、

前記Si微粒子は、結晶質Si相中に SiO_2 相、SiC相及び SiB_4 相が析出したものであることを特徴とする炭素質材料。

【請求項2】 X線広角回折による前記Si相の(111)面の回折強度を P_{Si} とし、前記 SiO_2 相の(111)面の回折強度を P_{SiO_2} とし、前記SiC相の(111)面の回折強度を P_{SiC} とし、前記 SiB_4 相の(104)面の回折強度を P_{SiB} としたとき、

P_{SiO_2}/P_{Si} が0.005以上0.1以下であり、 P_{SiC}/P_{Si} が0.005以上0.1以下であり、 P_{SiB}/P_{SiO_2} が0.1以上5.0以下であり、 P_{SiB}/P_{SiC} が0.1以上5.0以下であることを特徴とする請求項1に記載の炭素質材料。

【請求項3】 前記黒鉛粒子の粒径が2 μm 以上70 μm 以下の範囲であり、前記複合粒子の粒径が50nmを越えて2 μm 以下の範囲であり、前記非晶質炭素膜の膜厚が50nm以上5 μm 以下の範囲であることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の炭素質材料。

【請求項4】 前記Si微粒子の粒径が10nm以上2 μm 未満の範囲であり、前記導電性炭素材の比抵抗が $10^{-4}\Omega \cdot m$ 以下であり、かつ前記硬質炭素膜の曲げ強度が500kg/cm²以上であるとともに膜厚が10nm以上1 μm 以下であることを特徴とする請求項1ないし請求項3のいずれかに記載の炭素質

材料。

【請求項 5】 前記複合粒子の含有量が 1 重量%以上 2 5 重量%以下であることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 4 のいずれかに記載の炭素質材料。

【請求項 6】 請求項 1 ないし請求項 5 のいずれかに記載の炭素質材料を備えたことを特徴とするリチウム二次電池。

【請求項 7】 結晶質珪素からなる Si 微粒子を B_2O_3 粉末とともに炭素るつぽ中で 1 3 0 0 °C 以上 1 4 0 0 °C 以下で焼成することにより、結晶質 Si 相中に SiO_2 相、SiC 相及び SiB_4 相を析出させる工程と、

前記 Si 微粒子に導電性炭素材を付着するとともに、該 Si 微粒子を覆う高分子材料皮膜を形成して複合粒子前駆体とし、更に該複合粒子前駆体を焼成することにより前記高分子皮膜を硬質炭素膜として複合粒子を得る工程と、

黒鉛粒子に前記 Si 微粒子を付着するとともに、該黒鉛粒子を覆う高分子材料皮膜を形成して炭素質材料前駆体とし、更に該炭素質材料前駆体を焼成することにより前記高分子皮膜を非晶質炭素膜として炭素質材料を得る工程と

からなることを特徴とする炭素質材料の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、リチウム二次電池用の炭素質材料及びリチウム二次電池に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

小型軽量化及び高性能化が進んでいる携帯電子機器のニーズに応えるため、リチウム二次電池の高容量化が急務となっている。

ところで、リチウム二次電池の負極活物質の一つである黒鉛は、 372mAh/g の理論電気容量を有するが、これよりも高容量な負極活物質を得ようとするためには、非晶質炭素材料や、あるいは炭素材料に代わる新規材料の開発を進める必要がある。

黒鉛に代わる新規材料としては従来からケイ素やその化合物が検討されている

。ケイ素やその化合物は、ケイ素自体がリチウムと合金を形成し、黒鉛よりも大きな電気容量が得られることが知られている。

そこで最近では、リチウム二次電池の負極材料として、(1) 黒鉛にケイ素化合物の粉末を単に混合した材料や、(2) シランカップリング剤等を用いて黒鉛表面に微粉末のケイ素化合物等を化学的に固定した材料、(3) 更に黒鉛系炭素質物と Si 等の金属質物とを非晶質な炭素質物で結合または被覆した材料が提案されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、上記(1)の材料では、黒鉛とケイ素化合物とが必ずしも密着していないため、充放電サイクルの進行により黒鉛が膨張収縮した際に、ケイ素化合物が黒鉛から遊離してしまい、このケイ素化合物自体は電子伝導性が低いため、ケイ素化合物が負極活物質として十分に利用されなくなり、リチウム二次電池のサイクル特性が低下するという課題があった。

【0004】

また上記(2)の材料では、充放電サイクルが初期のうちは黒鉛にケイ素化合物が密着した状態で保たれ、従ってケイ素化合物が黒鉛と同様に負極活物質として機能するが、充放電サイクルが進むと、リチウムとの合金形成に伴ってケイ素化合物自体が膨張し、これによってシランカップリング剤による結合を破壊してケイ素化合物が黒鉛から遊離し、ケイ素化合物が負極活物質として十分に利用されなくなり、リチウム二次電池のサイクル特性が低下するという課題があった。

また、負極材料の製造の際に施されるシランカップリング処理が均質に行われない場合があり、安定した品質の負極材料が容易に得られるまでには至っていないという課題があった。

【0005】

更に上記(3)の材料でも上記(2)の材料と同様な問題が発生する。即ち、充放電サイクルが進むと、リチウムとの合金形成に伴う金属質物自体の膨張により、非晶質炭素質物による結合を破壊して金属質物が黒鉛系炭素質物から遊離し、金属質物が負極活物質として十分に利用されなくなり、リチウム二次電池のサ

イクル特性が低下するという課題があった。

【0006】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであって、充放電容量が高いと同時にサイクル特性に優れた炭素質材料を提供し、またこの炭素質材料を有するリチウム二次電池を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するために、本発明は以下の構成を採用した。

本発明の炭素質材料は、X線広角回折による(002)面の面間隔 d_{002} が 0.337 nm 未満である黒鉛粒子の周りに、珪素及び炭素を少なくとも含有するとともに前記黒鉛粒子より粒径が小さな複合粒子が分散して配置され、かつ前記黒鉛粒子及び前記複合粒子が 0.37 nm 以上の面間隔 d_{002} を有する非晶質炭素膜によって被覆されてなり、前記複合粒子は、結晶質珪素からなるSi微粒子の周りに導電性炭素材が配置されるとともに前記Si微粒子及び前記導電性炭素材が硬質炭素膜により被覆されてなり、前記Si微粒子は、結晶質Si相中に SiO_2 相、SiC相及び SiB_4 相が析出したものであることを特徴とする。

【0008】

なお本発明において、「周りに」の意義は、黒鉛粒子に対する複合粒子の位置関係を表すものであって、黒鉛粒子の「表面上もしくは表面近傍」を意味する。

また、「周りに」の意義は、Si微粒子に対する導電性炭素材の位置関係をも表すものであって、Si微粒子の「表面上もしくは表面近傍」を意味する。

更に「分散して配置」の意義は、複数の複合粒子が凝集することなく相互に分散した状態で黒鉛粒子の表面に接合若しくは表面からわずかに離間して位置している状態を意味する。

また「被覆」の意義は、被覆対象粒子を完全に覆うことによって被覆対象粒子同士を結合させる状態を意味する。この場合、被覆対象粒子は必ずしも直接に接していなくても良い。

具体的には、黒鉛粒子及び複合粒子を非晶質炭素膜によって被覆するとは、黒鉛粒子及び複合粒子を非晶質炭素膜によって完全に覆って黒鉛粒子と複合粒子を

結合させることや、非晶質炭素膜中に複合粒子を埋め込んで黒鉛粒子表面に近接させたことを意味する。

同様に、Si 微粒子及び導電性炭素材を硬質炭素膜によって被覆するとは、Si 微粒子及び導電性炭素材を硬質炭素膜によって完全に覆ってSi 微粒子と導電性炭素材を結合させることや、硬質炭素膜中に導電性炭素材を埋め込んでSi 微粒子表面に近接させたことを意味する。

更に、「析出」の意義は、結晶相の状態を説明する用語であり、母相中に母相と組成が異なる析出相が形成された状態を意味する。即ち、即ち、 SiO_2 相、 SiC 相及び SiB_4 相がSi 相中に一体不可分に含まれた状態を意味するのであり、Si 相、 SiO_2 相、 SiC 相及び SiB_4 相が相互に物理的に分離した状態をいうものではない。

【0009】

係る炭素質材料においては、黒鉛粒子及びSi 微粒子がLi を吸蔵するので、黒鉛粒子単独の場合よりも充放電容量が向上する。

また黒鉛粒子に対して高比抵抗なSi 微粒子の周りに導電性炭素材を配置することで、Si 微粒子の導電性を見かけ上、向上させる。

更にSi 微粒子を硬質炭素膜で被覆することにより、Li の吸蔵・放出に伴うSi 微粒子の体積膨張・収縮が機械的に抑えられる。

更にまた、黒鉛粒子と複合粒子を非晶質炭素膜で覆うことにより、黒鉛粒子が直接に電解液に触れることなく電解液分解が抑制されるとともに、複合粒子が黒鉛粒子から脱落することがなく、更に充電による体積膨張に起因するSi 微粒子の微粉化を防止する。

【0010】

更に、結晶質Si 相中に SiO_2 相、 SiC 相及び SiB_4 相が析出することにより、相対的にSi 相の含有量が低減するとともに、Si 相に歪みを与えて結晶性を低下させ、過度のLi 吸蔵が抑制される。これにより、Li の吸蔵・放出によるSi 微粒子の膨張・収縮が適度に抑制される。 SiO_2 相、 SiC 相及び SiB_4 相はLi と反応しないためそれ自身は容量をもたないが、Li イオンの拡散を促進するとともに、Si 微粒子の体積膨張による微粉化が抑制される。

更に、 SiO_2 相、 SiC 相及び SiB_4 相の全てを含むため、上記の機能をより効果的に得ることができる。

以上のことから、本発明の炭素質材料では、充放電容量を高くするとともに、 Si 微粒子の体積膨張及び複合粒子の脱落、および充電による体積膨張に起因する Si 微粒子の微粉化を抑制して、サイクル特性の低下を防止することが可能になる。

特に、 Si 微粒子の体積膨張による黒鉛粒子からの解離を防止してサイクル効率の低下をより効果的に防止することが可能になる。また、 Li イオンの拡散速度が速まることにより、活物質が高密度に充填された電極においても素早い Li イオンの吸蔵・放出を行うことができ、充放電効率の向上が可能になる。

【0011】

また本発明の炭素質材料は、先に記載の炭素質材料であって、X線広角回折による前記 Si 相の(111)面の回折強度を P_{Si} とし、前記 SiO_2 相の(111)面の回折強度を P_{SiO_2} とし、前記 SiC 相の(111)面の回折強度を P_{SiC} とし、前記 SiB_4 相の(104)面の回折強度を P_{SiB} としたとき、 $P_{\text{SiO}_2}/P_{\text{Si}}$ が0.005以上0.1以下であり、 $P_{\text{SiC}}/P_{\text{Si}}$ が0.005以上0.1以下であり、 $P_{\text{SiB}}/P_{\text{SiO}_2}$ が0.1以上5.0以下であり、 $P_{\text{SiB}}/P_{\text{SiC}}$ が0.1以上5.0以下であることを特徴とする。

【0012】

係る炭素質材料においては、各相の回折強度比が上記の範囲であるため、 Si 相の含有量が極端に低下することがなく、 Li 吸蔵量が低下することがない。また、 SiO_2 相、 SiC 相及び SiB_4 相の含有量を最適化することにより、 Si 微粒子の体積膨張・収縮を抑制する。

従って、炭素質材料の充放電容量を大きくし、更に Si 微粒子の体積膨張による黒鉛粒子からの解離、および充電による体積膨張に起因する Si 微粒子の微粉化を防いでサイクル効率の低下を防止することが可能になる。

【0013】

また本発明の炭素質材料は、先に記載の炭素質材料であって、前記黒鉛粒子の粒径が $2\mu\text{m}$ 以上 $70\mu\text{m}$ 以下の範囲であり、前記複合粒子の粒径が 50nm を

越えて $2\ \mu\text{m}$ 以下の範囲であり、前記非晶質炭素膜の膜厚が $50\ \text{nm}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下の範囲であることを特徴とする。

【0014】

黒鉛粒子の粒径が $2\ \mu\text{m}$ 未満では、黒鉛粒子の粒径が複合粒子の粒径よりも相対的に小さくなり、複合粒子を黒鉛粒子の表面に均一に付着させることが困難になるので好ましくなく、粒径が $70\ \mu\text{m}$ を越えると、集電体との密着性が低下するとともに、電極内の空隙も大きくなるので好ましくない。

また複合粒子の粒径を、 $50\ \text{nm}$ を越えて $2\ \mu\text{m}$ 以下、好ましくは $50\ \text{nm}$ を越えて $500\ \text{nm}$ 以下とするのは、黒鉛粒子の表面に複合粒子を分散配置させるために複合粒子の粒径を黒鉛粒子の最小粒径である $2\ \mu\text{m}$ 以下にする必要があるためであり、さらに粒径を $500\ \text{nm}$ 以下とすれば膨張・収縮による複合粒子の体積変化を小さくできるからである。また粒径が $50\ \text{nm}$ 以下では、複合粒子に含まれる Si 微粒子の結晶構造の乱れが大きくなって、 Li 吸蔵量が低下するので好ましくない。

更に非晶質炭素膜の膜厚を $50\ \text{nm}$ 未満にすると、黒鉛粒子が非晶質炭素膜によって完全に被覆されないおそれがあり、黒鉛粒子からの複合粒子の脱落を防止できなくなるとともに電解液分解を防止できなくなるおそれがあるので好ましくなく、膜厚が $5\ \mu\text{m}$ を越えると、非晶質炭素に起因する不可逆容量の増加を招くとともに、リチウムイオンが黒鉛粒子まで到達せず、 Li 吸蔵量が低下して充放電容量が低下するので好ましくない。

【0015】

また本発明の炭素質材料は、先に記載の炭素質材料であって、前記 Si 微粒子の粒径が $10\ \text{nm}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 未満の範囲であり、前記導電性炭素材の比抵抗が $10^{-4}\ \Omega \cdot \text{m}$ 以下であり、かつ前記硬質炭素膜の曲げ強度が $500\ \text{kg}/\text{cm}^2$ 以上であるとともに膜厚が $10\ \text{nm}$ 以上 $1\ \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする。

【0016】

Si 微粒子の粒径を $10\ \text{nm}$ 以上とするのは、 Si 微粒子の結晶構造の乱れを防止して Li 吸蔵量を向上させるためであり、粒径を $2\ \mu\text{m}$ 未満とするのは、複合粒子の粒径を黒鉛粒子の最小粒径である $2\ \mu\text{m}$ より小さくするためである。

また、導電性炭素材の比抵抗を $10^{-4}\Omega \cdot m$ 以下とするのは、Si 微粒子に十分な導電性を付与するためである。

更に、硬質炭素膜の曲げ強度を $500\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上とするのは、Li の吸蔵、放出に伴う Si 微粒子の膨張・収縮を機械的に抑えて体積変化を小さくするためであり、硬質炭素膜の膜厚を 10nm 以上 $1\mu\text{m}$ 以下とするのは、膜厚が 10nm 未満であると導電性炭素材と Si 微粒子との結着力が低下するとともに複合粒子の体積膨張を抑制する効果がなくなって好ましくないためであり、膜厚が $1\mu\text{m}$ を越えると、リチウムイオンが Si 微粒子まで到達せず、充放電容量が低下してしまうので好ましくないためである。

【0017】

また本発明のリチウム二次電池用の炭素質材料は、先に記載の炭素質材料であって、前記複合粒子の含有量が1重量%以上25重量%以下であることを特徴とする。

【0018】

複合粒子の含有量が1重量%未満では、炭素材料のみを活物質とした場合を上回る十分な放電容量を得ることができなくなるので好ましくない。

一方、含有量が25重量%を越えると炭素材料部分の寄与が少なくなり、放電初期から Si の反応電位近くまで電圧が増加してしまうので好ましくなく、更に複合粒子間の距離が狭まって再凝集化し、Si 微粒子による体積膨張・収縮が起こりやすくなり、サイクル特性が低下するので好ましくない。

【0019】

次に、本発明のリチウム二次電池は、先のいずれかに記載の炭素質材料を備えたことを特徴とする。

係るリチウム二次電池は、例えば、正極と、電解質と、前記の負極材料を有する負極を少なくとも有するもので、円筒形、角形、コイン型、あるいはシート型等の種々の形状からなる。尚、本発明のリチウム二次電池は、ここで挙げた形態に限られるものではなく、このほかの形態からなるものであってもよい。

係るリチウム二次電池によれば、エネルギー密度が高く、サイクル特性に優れたリチウム二次電池を構成することができる。

【0020】

次に、本発明の炭素質材料の製造方法は、結晶質珪素からなるSi微粒子を B_2O_3 粉末とともに炭素るつぼ中で $1300^{\circ}C$ 以上 $1400^{\circ}C$ 以下で焼成することにより、結晶質Si相中に SiO_2 相、SiC相及び SiB_4 相を析出させる工程と、前記Si微粒子に導電性炭素材を付着するとともに、該Si微粒子を覆う高分子材料皮膜を形成して複合粒子前駆体とし、更に該複合粒子前駆体を焼成することにより前記高分子皮膜を硬質炭素膜として複合粒子を得る工程と、黒鉛粒子に前記Si微粒子を付着するとともに、該黒鉛粒子を覆う高分子材料皮膜を形成して炭素質材料前駆体とし、更に該炭素質材料前駆体を焼成することにより前記高分子皮膜を非晶質炭素膜として炭素質材料を得る工程とからなることを特徴とする

【0021】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

図1～図4に、本発明のリチウム二次電池用の炭素質材料の断面模式図を示す。この炭素質材料は、黒鉛粒子の周りに複合粒子が分散して配置され、かつ黒鉛粒子と複合粒子とが非晶質炭素膜によって被覆されてなるものである。

【0022】

ここで、「周りに」とは、黒鉛粒子に対する複合粒子の位置関係を表すものであって、黒鉛粒子の「表面上もしくは表面近傍」を意味する。即ち、複合粒子が黒鉛粒子の表面に接合した状態と、複合粒子が黒鉛粒子の表面から離間して黒鉛粒子の周囲に位置することを含む。

更に「分散して配置」とは、複数の複合粒子が相互に分散した状態で黒鉛粒子の表面に接合若しくは表面からわずかに離間して位置している状態を意味する。尚、複合粒子同士が凝集しない程度で相互に接触していてもよい。

また、「被覆」とは、被覆対象粒子を完全に覆うことによって被覆対象粒子同士を結合させる状態を意味する。この場合、被覆対象粒子は必ずしも直接に接していなくても良い。

具体的には、黒鉛粒子及び複合粒子を非晶質炭素膜によって被覆するとは、黒

鉛粒子及び複合粒子を非晶質炭素膜によって完全に覆って黒鉛粒子と複合粒子を結合させることや、非晶質炭素膜中に複合粒子を埋め込んで黒鉛粒子表面に近接させたことを意味する。

従って本発明の炭素質材料には、以下に示すような様々な形態のものが含まれる。

【 0 0 2 3 】

例えば、図 1 に示す炭素質材料 1 は、黒鉛粒子 2 の表面に複数の複合粒子 3 … が相互に分散した状態で接合し、非晶質炭素膜 4 が複合粒子 3 … の粒径よりも小さくかつ均一な膜厚で黒鉛粒子 2 と複合粒子 3 … を被覆することにより構成されている。

【 0 0 2 4 】

また図 2 に示す炭素質材料 1 は、複数の黒鉛粒子 2 … の表面に複数の複合粒子 3 … が相互に分散した状態で接合し、非晶質炭素膜 4 が複合粒子 3 … の粒径よりも大きくかつ均一な膜厚で黒鉛粒子 2 と複合粒子 3 … を覆うように形成されたととともに、この非晶質炭素膜 4 によって複数の黒鉛粒子 2 … が結合されて構成されている。

図 2 では、2 つまたは 3 つの黒鉛粒子 2 … が非晶質炭素膜 4 によって結合されている状態を示すが、これに限られず、4 つ以上の黒鉛粒子 2 … が非晶質炭素膜 4 によって結合されていても良い。

【 0 0 2 5 】

更に、図 3 に示す炭素質材料 1 は、黒鉛粒子 2 の表面に複数の複合粒子 3 … が相互に分散した状態で接合し、非晶質炭素膜 4 が黒鉛粒子 2 と複合粒子 3 … を被覆することにより構成されている。図 3 に示す非晶質炭素膜 4 の膜厚は不均一であり、例えば、黒鉛粒子 2 のみを覆う部分では複合粒子 3 … の粒径よりも大きく設定され、複合粒子 3 … を覆う部分では複合粒子 3 … の粒径よりも小さく設定されている。

【 0 0 2 6 】

更に、図 4 に示す炭素質材料 1 は、黒鉛粒子 2 の表面に複数の複合粒子 3 … が相互に分散した状態で接合し、非晶質炭素膜 4 が黒鉛粒子 2 と複合粒子 3 … を被

覆ることにより構成されている。図4に示す非晶質炭素膜4の膜厚は不均一であり、例えば、黒鉛粒子2のみを覆う部分では複合粒子3…の粒径よりも大きく設定され、複合粒子3…を覆う部分では複合粒子3…の粒径よりも小さく設定され、しかも非晶質炭素膜4の表面は複合粒子3…の形状を反映することなく凹凸のないなめらかな面に形成されている。

【0027】

本発明の炭素質材料は図1～4に示したものに限られず、上記の用語の意義を満足する限り、どのようなものであっても良い。

【0028】

炭素質材料に含まれる黒鉛粒子1は、X線広角回折による(002)面の面間隔 d_{002} が0.335nm以上0.337nm未満とされたものを用いることが好ましく、0.335nm以上0.34nm以下のものがより好ましい。

面間隔 d_{002} が0.337nm以上だと黒鉛粒子の結晶性が低下し、初期不可逆容量が著しく増加するとともに、電子伝導性が低下するので好ましくない。

また、黒鉛粒子2の粒径は、2 μ m以上70 μ m以下の範囲が好ましい。

黒鉛粒子2の粒径が2 μ m未満では、黒鉛粒子2の粒径が複合粒子3…の粒径よりも相対的に小さくなり、複合粒子3…を黒鉛粒子2の表面に均一に付着させることが困難になるので好ましくなく、粒径が70 μ mを越えると、集電体との密着性が低下するとともに、電極内の空隙も大きくなるので好ましくない。

【0029】

次に非晶質炭素膜4は図1～図4に示すように、黒鉛粒子2及び複合粒子3…を覆うとともに、複合粒子3…を黒鉛粒子2の表面上に付着させている。この非晶質炭素膜4は、図2に示すように黒鉛粒子2…同士を結合させる作用もある。

この非晶質炭素膜4は、熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂、ビニル系樹脂、セルロース系樹脂、フェノール系樹脂、石炭系ピッチ材料、石油系ピッチ材料、タール系材料等のうち少なくとも一種を熱処理して得られたもので、黒鉛化が比較的に進んでいないもので非晶質なものであり、0.37nm以上の面間隔 d_{002} を有するものである。非晶質炭素膜4が非晶質であるため、有機電解液が非晶質炭素膜4に触れても分解するおそれがなく、炭素質材料1の充放電効率を高くできる

非晶質炭素膜4の面間隔 d_{002} が0.37nm未満であると、非晶質炭素膜4の結晶性が向上して黒鉛構造に近づき、有機電解液を分解させてしまうおそれがあるので好ましくない。

【0030】

また、非晶質炭素膜4によって複合粒子3…を黒鉛粒子2の表面上に配置させているので、比較的高比抵抗な複合粒子3…が黒鉛粒子2から遊離するのを防止して、充放電反応に寄与しない複合粒子3…の発生を防止できる。

また、この非晶質炭素膜4は、上記の高分子材料を溶解させた溶媒中に投入し、黒鉛粒子2の表面に高分子材料を析出させ、更に焼成して得られたものなので、黒鉛粒子2全体を完全に被覆させることが可能であり、また、密度が比較的低くリチウムイオンが透過しやすいので、黒鉛粒子2及び複合粒子3…とリチウムイオンとの反応を阻害することがない。

非晶質炭素膜4の膜厚は、50nm以上5 μ m以下の範囲であることが好ましい。膜厚が50nm未満では、黒鉛粒子2が完全に被覆されず、複合粒子3…が黒鉛粒子2から脱落するおそれがあるので好ましくなく、膜厚が5 μ mを越えると、非晶質炭素に起因する不可逆容量が増加するので好ましくない。

【0031】

次に複合粒子3…は、図5に示すように、Si微粒子5の周りに導電性炭素材6…が配置されるとともに、Si微粒子5と導電性炭素材6…とが硬質炭素膜7によって被覆されてなるものである。

また、Si微粒子3…は、結晶質Si相中にSiO₂相、SiC相及びSiB₄相が析出したものである。

ここで、「周りに」とは、Si微粒子5に対する導電性炭素材6…の位置関係を表すものであって、Si微粒子5の「表面上もしくは表面近傍」を意味する。即ち、導電性炭素材6…がSi微粒子5の表面に接合した状態と、導電性炭素材6…がSi微粒子5の表面から離間してSi微粒子5の周囲に位置することを含む。

また、Si微粒子5と導電性炭素材6…とを硬質炭素膜7によって被覆すると

は、Si 微粒子 5 及び導電性炭素材 6…を硬質炭素膜 7 によって完全に覆って Si 微粒子 5 と導電性炭素材 6…を結合させることや、硬質炭素膜 7 中に導電性炭素材 6…を埋め込んで Si 微粒子 5 表面に近接させたことを含む。

【0032】

更に、「析出」とは、結晶相の状態を説明する用語であり、母相中に母相と組成が異なる析出相が形成された状態を意味する。即ち、Si 相中に SiO₂相、SiC 相及び SiB₄相が一体不可分に含まれた状態を意味するのであり、Si 相、SiO₂相、SiC 相及び SiB₄相が相互に物理的に分離した状態をいうものではない。

【0033】

複合粒子 3 の粒径は、50 nm を越えて 2 μm 以下の範囲が好ましく、50 nm を越えて 500 nm 以下の範囲がより好ましい。

複合粒子 3 の粒径を 2 μm 以下とするのは、黒鉛粒子 2 の表面に複合粒子 3…を分散配置させるためには複合粒子 3…の粒径を黒鉛粒子 2 の最小粒径である 2 μm 以下にする必要があるためであり、更に粒径を 500 nm 以下とすればリチウムの吸蔵、放出に伴う Si 微粒子 5 の膨張・収縮による体積変化を小さくできるからである。また粒径の下限値を 50 nm を越えてとする理由は、50 nm 以下であると複合粒子 3 に含まれる Si 微粒子 5 の結晶構造の乱れが大きくなり、Li 吸蔵量が低下して充放電容量が少なくなるおそれがあるためである。

【0034】

Si 微粒子 5 は結晶質珪素 (Si 相) を主体として含み、更に SiO₂相、SiC 相及び SiB₄相が析出してなるものであり、粒径が 10 nm 以上 2 μm 未満の範囲のものである。

珪素はリチウムと合金を形成する元素であり、この珪素からなる Si 相にリチウムイオンが作用することにより合金を形成する。特にリチウムイオンは Si 微粒子 5 の表面若しくは Si 微粒子 5 内部にある空隙部分に侵入して合金を形成し、これにより Si 微粒子 5 自体が膨張する。

【0035】

また、この Si 微粒子 5 には SiO₂相、SiC 相及び SiB₄相が含まれてお

り、これらの相はリチウムと反応しないためそれ自身は容量をもたないが、リチウムイオンの拡散を促進する作用がある。

従って、Si相中にSiO₂相、SiC相及びSiB₄相が含まれると、Si相中におけるリチウムイオンの拡散速度が向上し、例えばこの炭素質材料が高密度に充填された電極においても素早いLiイオンの吸蔵・放出を行うことができ、充放電効率を向上させることができる。

【0036】

また、Si微粒子5にSiO₂相、SiC相及びSiB₄相が含まれると、相対的にSi相の含有量が低下し、またSi相に歪みを与えて結晶性を低下させる。これによりリチウムイオンの吸蔵量が若干低下するが、同時にリチウムの吸蔵・放出に伴うSi微粒子の膨張、収縮も適度に抑制される。これにより、Si微粒子の体積膨張による微粉化が抑制されるとともに、Si微粒子の体積膨張による複合粒子の脱落が少なくなり、サイクル特性の低下を防止できる。

【0037】

具体的には、X線広角回折によるSi相の(111)面の回折強度を P_{Si} とし、SiO₂相の(111)面の回折強度を P_{SiO_2} とし、SiC相の(111)面の回折強度を P_{SiC} とし、SiB₄相の(104)面の回折強度を P_{SiB} としたとき、 P_{SiO_2}/P_{Si} が0.005以上0.1以下であり、 P_{SiC}/P_{Si} が0.005以上0.1以下であり、 P_{SiB}/P_{SiO_2} が0.1以上5.0以下であり、 P_{SiB}/P_{SiC} が0.1以上5.0以下であることが好ましい。

P_{SiO_2}/P_{Si} が0.005未満であると、SiO₂相の含有量が低下し、Si微粒子5の膨張、収縮を抑制することができなくなり、またリチウムイオンの拡散速度が低下するので好ましくない。 P_{SiO_2}/P_{Si} が0.1を越えると、Si微粒子5中のSi相の含有量が低下して充放電容量が低下してしまうので好ましくない。

また、 P_{SiC}/P_{Si} が0.005未満の場合も、SiC相の含有量が低下し、Si微粒子5の膨張、収縮を抑制することができなくなり、またリチウムイオンの拡散速度が低下するので好ましくなく、 P_{SiC}/P_{Si} が0.1を越えるとSi微粒子5中のSi相の含有量が低下して充放電容量が低下してしまうので好ましく

ない。

【0038】

更に、 P_{SiB}/P_{SiO_2} が0.1未満であると、Si微粒子5の膨張、収縮を抑制する効果がほとんどなくなるため好ましくない。また、 P_{SiB}/P_{SiO_2} が5.0を越えると、 SiO_2 相がリチウムイオンの拡散を促進させる効果を妨げるとともに、Si相の結晶構造の歪みが大きくなりすぎて放電容量が減少してしまうため好ましくない。

更にまた、 P_{SiB}/P_{SiC} が0.1未満であると、Si微粒子5の膨張、収縮を抑制する効果がほとんどなくなるため好ましくない。また、 P_{SiB}/P_{SiC} が5.0を越えると、SiC相がリチウムイオンの拡散を促進させる効果を妨げるとともに、Si相の結晶構造の歪みが大きくなりすぎて放電容量が減少してしまうため好ましくない。

尚、 SiO_2 相、SiC相は特にリチウムイオンの拡散を促進させる効果が高く、 SiB_4 相はSi微粒子5の膨張、収縮を抑制する効果が特に強いが、それぞれ単独では上記のような効果を十分に発揮することができず、全ての相が共存することにより、高効率、高容量維持率を示す電極材料を得ることができる。従って本発明においては、 SiO_2 相、SiC相及び SiB_4 相の全てを必ず含むことが好ましい。

【0039】

尚、Si微粒子5の粒径を10nm以上とするのは、Si微粒子5の結晶構造の乱れを防止してLi吸蔵量を向上させるためであり、粒径を2 μ m未満とするのは、複合粒子3の粒径を黒鉛粒子2の最小粒径である2 μ mより小さくする必要があるからである。

【0040】

次に導電性炭素材6…は、Si微粒子5の表面上または表面近傍に配置されるもので、図5ではSi微粒子5の周りに粒子状の導電性炭素材6…が配置されているが、導電性炭素材6…の形状は粒子状に限られず、膜状、層状、繊維状等の様々な形態でもよい。

導電性炭素材6…は、半導体であるSi微粒子5の表面に位置してSi微粒子

5に見かけ上の導電性を付与する。この導電性炭素材6…の比抵抗は $10^{-4}\Omega \cdot m$ 以下の範囲が好ましい。比抵抗が $10^{-4}\Omega \cdot m$ を越えると、Si微粒子5の見かけ上の導電性が低下してSi微粒子5に対するリチウムイオンの充放電反応が円滑に進行せず、炭素質材料の充放電容量を向上させることができなくなるので好ましくない。

導電性炭素材6…としては、例えば、カーボンブラック、ケッチェンブラック、気相成長炭素繊維(VGCF)等を例示できる。

【0041】

硬質炭素膜7は、Si微粒子5及び導電性炭素材6…を覆うとともに、導電性炭素材6…をSi微粒子5の表面上に配置させている。この硬質炭素膜7は、ポリビニルアルコールやフェノール樹脂等を焼成して得られたもので、曲げ強度が $500kg/cm^2$ 以上であるとともに膜厚が $10nm$ 以上 $1\mu m$ 以下のものである。

【0042】

硬質炭素膜7は、リチウムイオンの充放電反応に伴うSi微粒子5の膨張、収縮に起因して生じる黒鉛粒子2からの複合粒子3の遊離を防止するためのもので、Si微粒子5の膨張、収縮を機械的に抑制する。従って硬質炭素膜7の曲げ強度を $500kg/cm^2$ 以上にすることが好ましい。曲げ強度が $500kg/cm^2$ 未満であると、Si微粒子5の膨張・収縮を機械的に抑えることができなくなり、複合粒子3が黒鉛粒子2から遊離するおそれがあるので好ましくない。

また、硬質炭素膜7の膜厚が $10nm$ 未満であると、導電性炭素材6…とSi微粒子5との結着力が低下するとともに複合粒子3の体積膨張を抑制する効果が低下して好ましくない。更に膜厚が $1\mu m$ を越えると、非晶質炭素に起因する負可逆容量の増加を招くため好ましくない。

【0043】

そして、本発明の炭素質材料における上記の複合粒子3の含有量は、1重量%以上25重量%以下であることが好ましい。複合粒子3の含有量が1重量%未満では、炭素材料のみを活物質とした場合を上回る十分な放電容量を得ることができないので好ましくない。また含有量が25重量%を越えると炭素材料部分の寄

与が少なくなり、放電初期から Si の反応電位に達してしまい、電池の平均電圧が低下するので好ましくなく、更に複合粒子 3 間の距離が狭まって再凝集化し、Si 微粒子 5 による体積膨張・収縮が起こりやすくなり、サイクル特性が低下するので好ましくない。

【0044】

上記の炭素質材料 1 がリチウムイオンと反応する場合は、リチウムイオンが主として黒鉛粒子 2 に吸蔵されるとともに Si 微粒子 5…と化合して合金を形成する。この Si 微粒子 5…の表面には導電性炭素材 6 が付着していて導電性が見かけ上高くなっており、Si 微粒子 5…に対してもリチウムイオンが容易に合金化する。

このとき、黒鉛粒子 2 及び Si 微粒子 5…の体積が膨張するが、Si 微粒子 5…は硬質炭素膜 7 6 により被覆されているので、体積膨張が機械的に抑制され、Si 微粒子 5…を含む複合粒子 3…が黒鉛粒子 2 から解離することがない。

また、Si 微粒子 5…には Si 相と SiO₂ 相、SiC 相及び SiB₄ 相が含まれることから、リチウムイオンの吸蔵量が抑制されて Si 微粒子 5…の体積膨張が適度に抑えられ、これによっても、Si 微粒子 5…を含む複合粒子 3…が黒鉛粒子 2 から解離することがない。

従って、Si 微粒子 5…を常に充放電反応に寄与させることができ、充放電サイクルが進行しても炭素質材料 1 の充放電容量が低下することがない。

【0045】

また、黒鉛粒子 2 と複合粒子 3…を非晶質炭素膜 4 で覆うことにより、黒鉛粒子 2 が直接に有機電解液に触れることがなく、有機電解液の分解が抑制される。また、複合粒子 3…が黒鉛粒子 2 から脱落することがなく、更に充電による体積膨張に起因する Si 微粒子 5…の微粉化が防止される。

【0046】

従って上記の炭素質材料 1 によれば、充放電容量を高くするとともに、Si 微粒子 5…の体積膨張及び複合粒子 3…の脱落、並びに充電に伴う体積膨張に起因する Si 微粒子 5…の微粉化を抑制して、サイクル特性の低下を防止することができる。

【0047】

上記の炭素質材料は、例えば、次のようにして製造することができる。

この炭素質材料の製造は、複合粒子を製造する工程と、得られた複合粒子に黒鉛粒子を混合し、これらを非晶質炭素膜で被覆する工程とからなる。

まず、複合粒子を製造する工程では、Si相のみからなるSi微粒子と、ホウ素源としてホウ素若しくは酸化ホウ素等のホウ素化合物を用意し、Si微粒子ホウ素またはホウ素化合物とを炭素製るつぼに投入して不活性雰囲気中で1300～1400℃程度で120～300分間加熱する。この加熱により、るつぼの構成材料である炭素とSi相とが反応してSi微粒子中にSiC相が析出し、またホウ素源に含まれるホウ素とSi相とが反応してSi微粒子中にSiB₄相が析出し、更に、僅かに混入した酸素とSi相が反応してSi微粒子中にSiO₂相が析出する。

ただし、加熱温度が1300℃未満及び／または加熱時間が120分未満であると、SiC相、SiO₂相及びSiB₄相が十分に析出しないので好ましくなく、加熱温度が1400℃を越えるとSiが熔融するため好ましくなく、加熱時間が300分を越えると、SiC相、SiO₂相及びSiB₄相の析出量が過大になるので好ましくない。

【0048】

また、Si微粒子とホウ素、ホウ素化合物等のホウ素源の混合割合は、10：1とすることが好ましい。

Si微粒子に対してホウ素量が少ないと、SiB₄相の析出量が少なくなるので好ましくなく、ホウ素量が過剰になると、Si相の結晶構造に歪みを与えすぎて、放電容量の低下を招くため好ましくない。

【0049】

次に、加熱後のSi微粒子と導電性炭素材とを、乾式混合あるいは湿式混合により混合する。湿式混合の場合、イソプロピルアルコール、アセトン、水等の分散媒を用いることが好ましい。

【0050】

次に、高分子材料を適当な溶媒に溶解し、この溶液にSi微粒子と導電性炭素

材の混合物を混合した後、溶媒を除去する。溶媒を除去することにより、Si 微粒子及び導電性炭素材に高分子膜を被覆した複合粒子前駆体が形成される。

なお、上記の高分子材料は、熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂、ビニル系樹脂、セルロース系樹脂、フェノール系樹脂のうち少なくとも一種を用いることが好ましく、特にフェノール樹脂を用いることが好ましい。また石炭系ピッチ材料、石油系ピッチ材料、タール系材料等のもを用いてもよい。

【0051】

次に、複合粒子前駆体を熱処理することにより、高分子膜を炭化させて硬質炭素膜を形成する。

熱処理は、真空雰囲気中または不活性ガス雰囲気中で行うことが好ましく、熱処理温度は800℃以上1200℃以下の範囲が好ましく、熱処理時間は120分以上行うことが好ましい。

熱処理を真空雰囲気または不活性ガス雰囲気で行うと、高分子膜の酸化が防止されて良好な硬質炭素膜が形成できる。

尚、熱処理温度が800℃未満だと炭化が完全に行われず、硬質炭素膜の比抵抗が高く、リチウムイオンの挿入・脱理が行われにくくなり好ましくなく、熱処理温度が1200℃を越えると、Si 微粒子が炭化されてSiCが過剰に生成するとともに、炭素膜の黒鉛化が進行し、膜の強度が低下するので好ましくない。

同様に、熱処理時間が120分未満だと均一な硬質炭素膜が形成できないので好ましくない。

このようにして、複合粒子が得られる。

【0052】

次の工程では得られた複合粒子に、乾式混合あるいは湿式混合により黒鉛粒子を混合する。湿式混合の場合、エタノール等の分散媒を用いることが好ましい。

【0053】

次に、別の高分子材料を適当な溶媒に溶解し、この溶液に複合粒子及び黒鉛粒子の混合物を混合した後、溶媒を除去する。溶媒を除去することにより、複合粒子及び黒鉛粒子に高分子膜を被覆した炭素質材料前駆体が形成される。

なお、上記の高分子材料は、熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂、ビニル系樹脂、セ

ルロース系樹脂、フェノール系樹脂等の高分子材料のうち少なくとも一種を用いることが好ましく、特にフェノール樹脂を用いることが好ましい。また石炭系ピッチ材料、石油系ピッチ材料、タール系材料等を用いても良い。

【 0 0 5 4 】

次に、炭素質材料前駆体を熱処理することにより、高分子膜を炭化させて非晶質炭素膜を形成する。

熱処理は、真空雰囲気中または不活性ガス雰囲気中で行うことが好ましく、熱処理温度は 800°C 以上 1200°C 以下の範囲が好ましく、熱処理時間は 120 分以上行うことが好ましい。

熱処理を真空雰囲気または不活性ガス雰囲気で行うと、高分子膜の酸化が防止されて良好な非晶質炭素膜が形成できる。

尚、熱処理温度が 800°C 未満だと温度が低いために炭化が完全に行われず、非晶質炭素膜の比抵抗が高く、リチウムイオンの挿入・脱理が行われにくくなり好ましくなく、熱処理温度が 1200°C を越えると Si 微粒子が炭化されて SiC が過剰に生成するとともに、高分子膜の黒鉛化が進行し、非晶質炭素膜の強度が低下するので好ましくない。

同様に、熱処理時間が 120 分未満だと均一な硬質炭素膜が形成できないので好ましくない。

このようにして、本発明に係る炭素質材料が得られる。

【 0 0 5 5 】

上記の炭素質材料を有する負極と、リチウムの吸蔵・放出が可能な正極及び有機電解質とにより、リチウム二次電池を構成することができる。

正極としては、例えば、 LiMn_2O_4 、 LiCoO_2 、 LiNiO_2 、 LiFeO_2 、 V_2O_5 、 TiS 、 MoS 等のリチウムの吸蔵、放出が可能な正極材料や、有機ジスルフィド化合物または有機ポリスルフィド化合物等の正極材料を含むものが例示できる。

正極または負極の具体例として、上記の正極材料または炭素質材料に、結着材と更に必要に応じて導電助材を混合し、これらを金属箔若しくは金属網からなる集電体に塗布してシート状に成形したものを例示できる。

【0056】

有機電解質としては、例えば、非プロトン性溶媒にリチウム塩が溶解されてなる有機電解液を例示できる。

非プロトン性溶媒としては、プロピレンカーボネート、エチレンカーボネート、ブチレンカーボネート、ベンゾニトリル、アセトニトリル、テトラヒドロフラン、2-メチルテトラヒドロフラン、 γ -ブチロラクトン、ジオキソラン、4-メチルジオキソラン、N、N-ジメチルホルムアミド、ジメチルアセトアミド、ジメチルスルホキシド、ジオキサン、1, 2-ジメトキシエタン、スルホラン、ジクロロエタン、クロロベンゼン、ニトロベンゼン、ジメチルカーボネート、メチルエチルカーボネート、ジエチルカーボネート、メチルプロピルカーボネート、メチルイソプロピルカーボネート、エチルブチルカーボネート、ジプロピルカーボネート、ジイソプロピルカーボネート、ジブチルカーボネート、ジエチレングリコール、ジメチルエーテル等の非プロトン性溶媒、あるいはこれらの溶媒のうちの二種以上を混合した混合溶媒を例示でき、特にプロピレンカーボネート、エチレンカーボネート、ブチレンカーボネートのいずれか1つを必ず含むとともにジメチルカーボネート、メチルエチルカーボネート、ジエチルカーボネートのいずれか1つを必ず含むことが好ましい。

【0057】

また、リチウム塩としては、 LiPF_6 、 LiBF_4 、 LiSbF_6 、 LiAsF_6 、 LiClO_4 、 LiCF_3SO_3 、 $\text{Li}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}$ 、 $\text{LiC}_4\text{F}_9\text{SO}_3$ 、 LiSbF_6 、 LiAlO_4 、 LiAlCl_4 、 $\text{LiN}(\text{C}_x\text{F}_{2x+1}\text{SO}_2)(\text{C}_y\text{F}_{2y+1}\text{SO}_2)$ (ただしx、yは自然数)、 LiCl 、 LiI 等のうちの1種または2種以上のリチウム塩を混合させてなるものを例示でき、特に LiPF_6 、 LiBF_4 のいずれか1つを含むものが好ましい。

またこの他に、リチウム二次電池の有機電解液として従来から知られているものを用いることもできる。

【0058】

また有機電解質の別の例として、PEO、PVA等のポリマーに上記記載のリチウム塩のいずれかを混合させたものや、膨潤性の高いポリマーに有機電解液を

含浸させたもの等、いわゆるポリマー電解質を用いても良い。

更に、本発明のリチウム二次電池は、正極、負極、電解質のみに限られず、必要に応じて他の部材等を備えていても良く、例えば正極と負極を隔離するセパレータを具備しても良い。

【0059】

上記のリチウム二次電池によれば、上記の炭素質材料1を備えているので、エネルギー密度が高く、サイクル特性に優れたリチウム二次電池を構成することができる。

【0060】

【実施例】

【実施例の炭素質材料の製造】

平均粒径 $2\mu\text{m}$ の Si 粉末 10g と、酸化ホウ素 1.4～2.8g またはホウ素 1g を、内容積 200ml の炭素製るつぼに入れ、アルゴンガス雰囲気中で 1400°C で 240 分間加熱した。Si 微粒子はこの加熱処理により凝集後硬化し、加熱前より大きな粒子となる。これをボールミル等により 300nm の粒度になるまで粉砕した。

次に、粉砕後の Si 微粒子 1 重量部に、2 重量部のカーボンブラックを混合した。なお、カーボンブラックは比抵抗が $10^{-4}\Omega\cdot\text{m}$ のものであった。

次に 10 重量部のフェノール樹脂をイソプロピルアルコールに溶解させた溶液を用意し、この溶液に、先程の Si 微粒子及びカーボンブラックの混合物を混合し、十分に攪拌した後、溶媒を除去した。このようにして、Si 微粒子の表面にカーボンブラックとフェノール樹脂被膜とが付着してなる複合粒子前駆体を形成した。

次に、この複合粒子前駆体をアルゴン雰囲気中、 1000°C で 180 分間熱処理することにより、ポリビニルアルコール樹脂皮膜を炭化して厚さ $0.05\mu\text{m}$ の硬質炭素膜を形成した。

尚、上記と同じ条件でポリビニルアルコール樹脂を単独で炭化させた場合、得られる炭化物の曲げ強度は $800\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度であることから、上記の硬質炭素膜の曲げ強度も同程度であると推定される。

このようにして複合粒子を得た。

【0061】

次に、平均粒径 $15\ \mu\text{m}$ の天然黒鉛の 95 重量部に、5 重量部の上記複合粒子を添加し、更にイソプロピルアルコールを加えて湿式混合した。尚、天然黒鉛の X 線広角回折による (002) 面の面間隔 d_{002} は $0.3355\ \text{nm}$ であった。

次に、上記の天然黒鉛と複合粒子の混合物に、10 重量部のフェノール樹脂を含むイソプロピルアルコール溶液を添加して混合した後に、イソプロピルアルコールを蒸発させた。このようにして、天然黒鉛の表面に複合粒子とポリビニルアルコール樹脂皮膜とが付着してなる炭素質材料前駆体を形成した。

【0062】

次に、この炭素質材料前駆体を、真空雰囲気中、 1000°C ($1273\ \text{K}$) で焼成することにより、フェノール樹脂を炭化させて厚さ $0.05\ \mu\text{m}$ の非晶質炭素膜とした。

尚、上記と同じ条件でフェノール樹脂を単独で炭化させた場合、得られる炭化物の (002) 面の面間隔 d_{002} が $0.39\ \text{nm}$ 程度であることから、上記の非晶質炭素膜の面間隔 d_{002} も同程度であると推定される。

このようにして実施例 1～4 の炭素質材料を得た。

【0063】

[比較例の炭素質材料の製造]

平均粒径 $2.0\ \mu\text{m}$ の Si 粉末 10 g と、酸化ホウ素 2.8 g またはホウ素 1 g を、内容積 $100\ \text{ml}$ のジルコニウム製のつぼに入れ、アルゴンガス雰囲気中で 1400°C で 180 分間加熱したこと以外は上記実施例 1～4 と同様にして、比較例 1 及び 2 の炭素質材料を得た。

実施例 2 において作成した加熱後の Si 微粒子を、ボールミル等により平均粒径が再び $2\ \mu\text{m}$ の粒度になるまで粉碎したのち、実施例 1～4 と同様の方法で比較例 3 の炭素質材料を得た。

更に、天然黒鉛のみからなる炭素質材料を比較例 4 とした。

【0064】

[充放電試験用のテストセルの作成]

上記の実施例 1～4 及び比較例 1～4 の炭素質材料に、ポリフッ化ビニリデンを混合し、更に N-メチルピロリドンを加えてスラリー液とした。このスラリー液を、ドクターブレード法により厚さ $14\ \mu\text{m}$ の銅箔に塗布し、真空雰囲気中で 120°C 、24 時間乾燥させて N-メチルピロリドンを揮発させた。このようにして、厚さ $100\ \mu\text{m}$ の負極合材を銅箔上に積層した。なお、負極合材中のポリフッ化ビニリデンの含有量は 8 重量%であり、負極合材の密度は $1.5\ \text{g}/\text{cm}^3$ 以上であった。

そして、負極合材を積層させた銅箔を直径 $13\ \text{mm}$ の円形に打ち抜いて実施例 1～4 及び比較例 1～4 の負極電極とした。

【0065】

実施例 1～4 及び比較例 1～4 の負極電極を作用極とし、円形に打ち抜いた金属リチウム箔を対極とし、作用極と対極との間に多孔質ポリプロピレンフィルムからなるセパレータを挿入し、電解液としてジメチルカーボネート (DMC)、ジエチルカーボネート (DEC) 及びエチレンカーボネート (EC) の混合溶媒に溶質として LiPF_6 が $1\ (\text{mol}/\text{L})$ の濃度となるように溶解させたものを用いて、コイン型のテストセルを作成した。

そして、充放電電流密度を $0.2\ \text{C}$ とし、充電終止電圧を $0\ \text{V}\ (\text{Li}/\text{Li}^+)$ 、放電終止電圧を $1.5\ \text{V}\ (\text{Li}/\text{Li}^+)$ として充放電試験を行った。

表 1 に、実施例 1～4 及び比較例 1、2 の 1 サイクル目における放電容量及び充放電効率を示す。

また、表 2 に、実施例 2 及び比較例 3、4 の 20 サイクル目の放電容量と 1 サイクル目の放電容量の容量比 (20th/1st) を示す。ただし、容量比の測定は、 $1\ \text{C}$ 放電で行った。

【0066】

【表 1】

試料	添加物質	S i 微粒子中の B の含有量 (重量%)	るつぼ種類	放電容量(mAh/g) (1サイクル目)	充放電効率(%) (1サイクル目)
実施例 1	B ₂ O ₃	5	炭素	425	89.3
実施例 2	B ₂ O ₃	10	炭素	417	92.7
実施例 3	B ₂ O ₃	20	炭素	383	92.8
実施例 4	B	10	炭素	439	90.0
比較例 1	B ₂ O ₃	10	ジルコニウム	421	87.4
比較例 2	B	10	ジルコニウム	440	85.9

【0067】

「表 2」

試料 加熱粉碎後の Si 微粒子 容量比(20th/1st)

実施例2	0.3 μ m	88.0%
比較例3	2.0 μ m	81.2%
比較例4	—	84.4%

【0068】

表1に示すように、比較例1及び2の1サイクル目の放電容量が、実施例1～4とほぼ同等か、若しくは高くなっていることがわかる。

これは、実施例1～4の場合、Si微粒子を炭素製るつぼ中で加熱したことにより、Si微粒子のSi相中にSiC相が析出し、リチウムと合金を形成するSi相の含有量が相対的に減少したためと考えられる。

一方、比較例1及び2は、ジルコニウム製のるつぼを用いたため、Si微粒子のSi相中にはSiC相が析出せず、このためSi相の含有量が相対的に実施例1～4よりも高くなったためと考えられる。

【0069】

更に、実施例1～3と実施例4とを放電容量で比較すると、実施例4が高い放電容量を示している。

これは、実施例1～3の場合、Si微粒子と B_2O_3 を混合して加熱したことにより、 B_2O_3 の酸素原子がSiを酸化し、 SiB_4 相の他に SiO_2 相が比較的多く析出したため、Si相の含有量が相対的に減少したためと考えられる。

一方、実施例4では、Si微粒子とBとを混合して加熱したため、実施例1～3に比べて酸素が少ない状況であり、雰囲気中の微小な残存酸素等によりわずかに SiO_2 相が析出するものの、実施例1～3よりもその量は少なく、このためSi相の含有量が相対的に実施例1～3よりも高くなったためと考えられる。

【0070】

更に、実施例1～3については、 B_2O_3 の添加量が増加するにつれて放電容量が低下している。

これは、 B_2O_3 の添加量が増加するに従って SiB_4 相が多く析出し、Si相の含有量が相対的に減少したためと考えられる。

【0071】

次に充放電効率については、表 1 から、実施例 1 ～ 4 の充放電効率が比較例 1 及び 2 よりも高くなっていることがわかる。

これは、Si 微粒子中に SiC 相、SiO₂ 相及び SiB₄ 相が析出し、リチウムと合金を形成する Si 相の含有量が相対的に減少したために、Si 微粒子自体の膨張、収縮が適度に抑制され、これにより複合粒子の黒鉛からの遊離が少なくなつて、充放電効率が向上したためと考えられる。

また、SiC 相、SiO₂ 相及び SiB₄ 相の析出により、Si 相の結晶性が低下し、これにより Si 相中におけるリチウムの拡散速度が向上したとも、充放電効率向上の一因と考えられる。

【 0 0 7 2 】

図 6 には、実施例 2 の炭素質材料の Si 微粒子の X 線回折パターンを示す。図 6 から明らかなように、Si 相の他に、SiC 相、SiO₂ 相及び SiB₄ 相に由来する回折ピークが観察される。

Si 相の (1 1 1) 面の回折強度を P_{Si} とし、SiO₂ 相の (1 1 1) 面の回折強度を P_{SiO_2} とし、SiC 相の (1 1 1) 面の回折強度を P_{SiC} とし、SiB₄ 相の (1 0 4) 面の回折強度を P_{SiB} としたとき、図 6 から、 $P_{SiO_2}/P_{Si} = 0.034$ であり、 $P_{SiC}/P_{Si} = 0.044$ であり、 $P_{SiB}/P_{SiO_2} = 1.50$ であり、 $P_{SiB}/P_{SiC} = 1.16$ であることがわかる。

【 0 0 7 3 】

次に、表 2 から明らかなように、実施例 2 の容量比は、比較例 4 よりも大幅に向上していることがわかる。

これは、1 サイクル目の充放電効率が向上した理由と同様に、Si 微粒子中に SiC 相、SiO₂ 相及び SiB₄ 相が析出し、リチウムと合金を形成する Si 相の含有量が相対的に減少したために、Si 微粒子自体の膨張、収縮が適度に抑制され、これにより複合粒子の黒鉛からの遊離が少なくなつて、サイクル特性が向上したためと考えられる。

また、SiC 相、SiO₂ 相及び SiB₄ 相の析出により、Si 相の結晶性が低下し、これにより Si 相中におけるリチウムの拡散速度が向上したとも、サイクル特性向上の一因と考えられる。

また、比較例 3 の結果より、加熱焼成後の Si 微粒子が大きいと Si 微粒子の膨脹、収縮を抑制する硬化が薄れることがわかる。

【0074】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したように、本発明の炭素質材料によれば、黒鉛粒子及び Si 微粒子が Li を吸蔵するので、黒鉛粒子単独の場合よりも充放電容量が向上する。また黒鉛粒子に対して高比抵抗な Si 微粒子の周りに導電性炭素材を配置することで、Si 微粒子の導電性を見かけ上、向上させる。更に Si 微粒子を硬質炭素膜で被覆することにより、Li の吸蔵・放出に伴う Si 微粒子の体積膨脹・収縮が機械的に抑えられる。更にまた、黒鉛粒子と複合粒子を非晶質炭素膜で覆うことにより、黒鉛粒子が直接に電解液に触れることなく電解液分解が抑制されるとともに、複合粒子が黒鉛粒子から脱落することがなく、更に充電による体積膨脹に起因する Si 微粒子の微粉化を防止する。更に、結晶質 Si 相中に SiO_2 相、SiC 相及び SiB_4 相が析出することにより、相対的に Si 相の含有量が低減するとともに、Si 相に歪みを与えて結晶性を低下させ、過度の Li 吸蔵が抑制される。これにより、Li の吸蔵・放出による Si 微粒子の膨脹・収縮が適度に抑制される。 SiO_2 相、SiC 相及び SiB_4 相は Li と反応しないためそれ自身は容量をもたないが、Li イオンの拡散を促進するとともに、Si 微粒子の体積膨脹による微粉化が抑制される。更に、 SiO_2 相、SiC 相及び SiB_4 相の全てを含むため、上記の機能をより効果的に得ることができる。

以上のことから本発明の炭素質材料では、充放電容量を高くするとともに、Si 微粒子の体積膨脹及び複合粒子の脱落、および充電による体積膨脹に起因する Si 微粒子の微粉化を抑制して、サイクル特性の低下を防止することができる。

【0075】

また、本発明のリチウム二次電池によれば、本発明に係る炭素質材料を負極として備えているので、エネルギー密度及びサイクル特性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の実施形態である炭素質材料の一例を示す断面模式図であ

る。

【図 2】 本発明の実施形態である炭素質材料の別の一例を示す断面模式図である。

【図 3】 本発明の実施形態である炭素質材料の更に別の一例を示す断面模式図である。

【図 4】 本発明の実施形態である炭素質材料の他の一例を示す断面模式図である。

【図 5】 本発明の実施形態である炭素質材料に含まれる複合粒子の一例を示す断面模式図である。

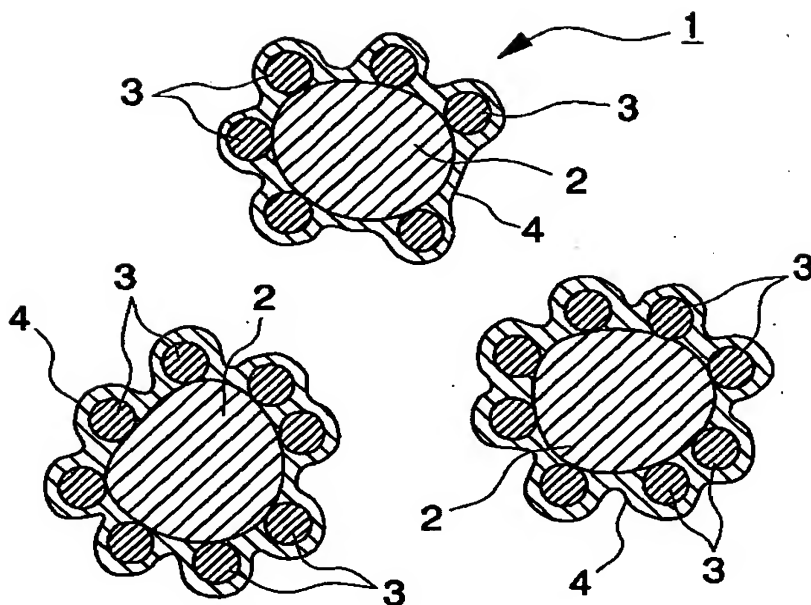
【図 6】 加熱後の S i 微粒子の X 線回折パターンを示す図である。

【符号の説明】

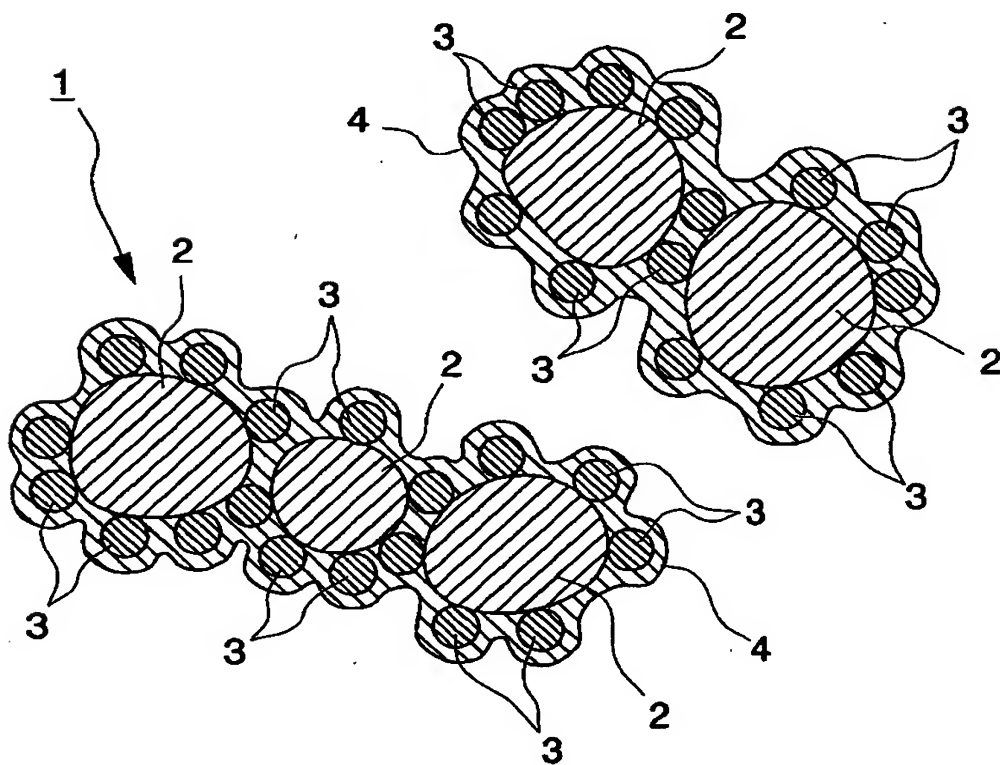
- 1 炭素質材料
- 2 黒鉛粒子
- 3 複合粒子
- 4 非晶質炭素膜
- 5 S i 微粒子
- 6 導電性炭素材
- 7 硬質炭素膜

【書類名】 図面

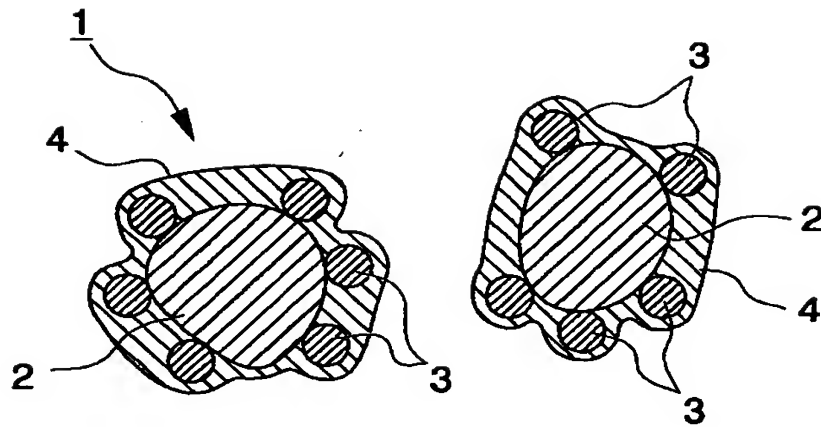
【図1】



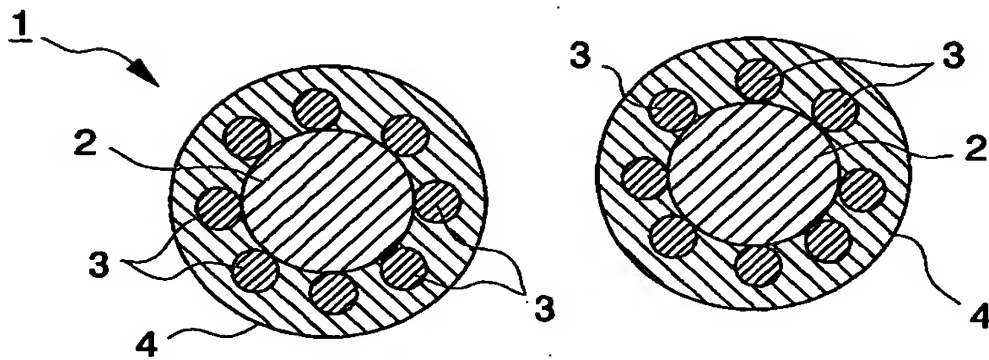
【図2】



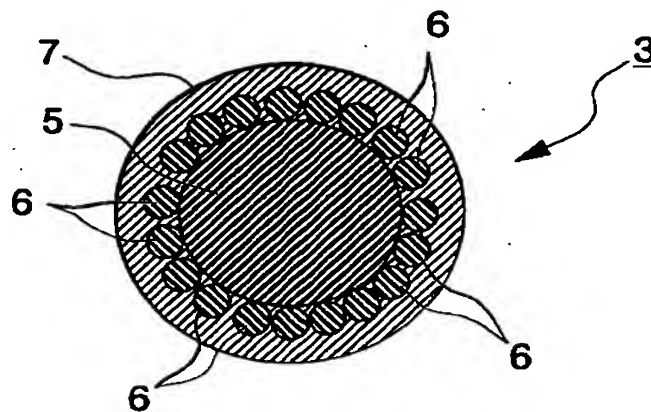
【図3】



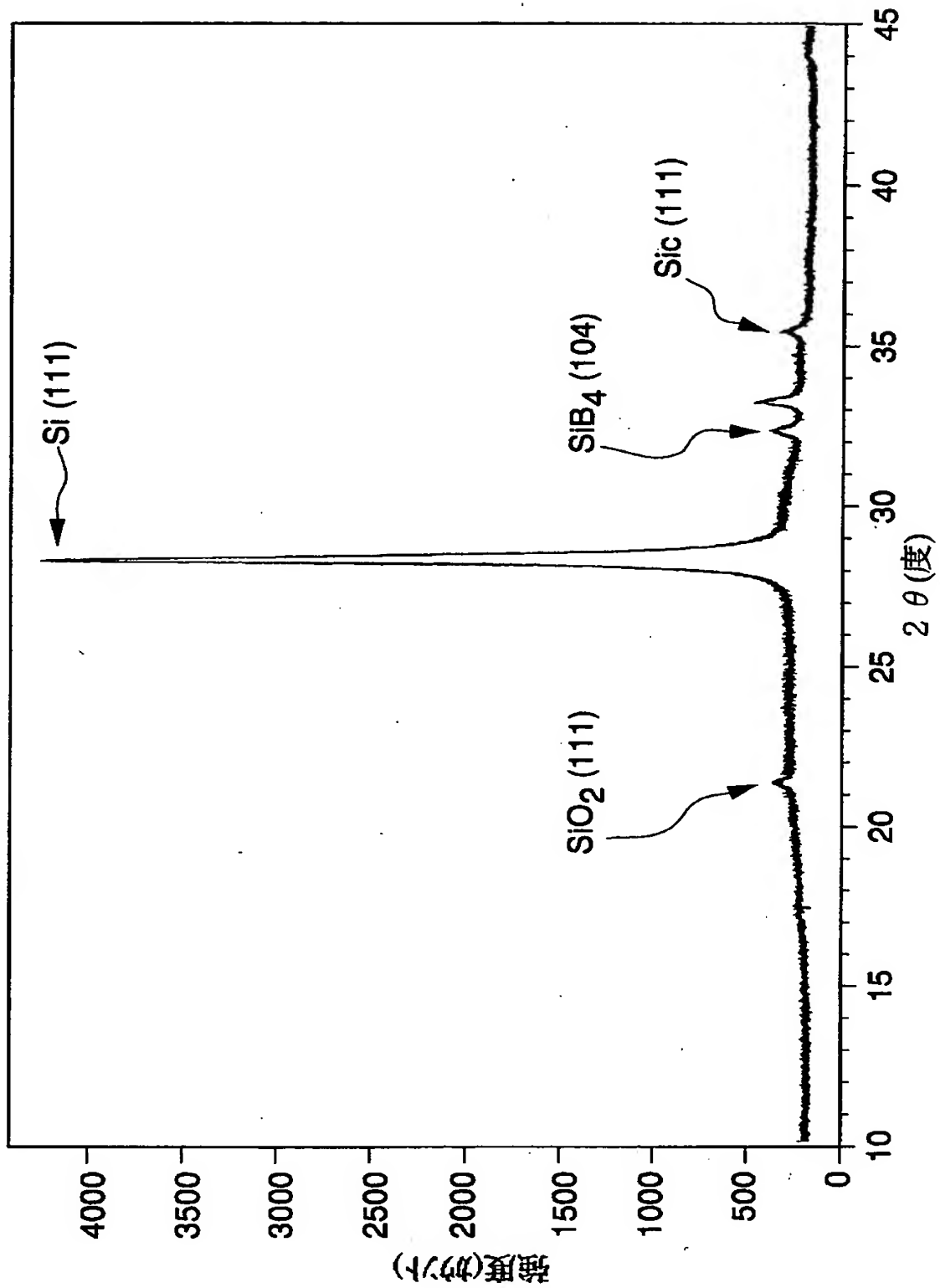
【図4】



【図5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 充放電容量が高いと同時にサイクル特性に優れた炭素質材料を提供する。

【解決手段】 X線広角回折による(002)面の面間隔 d_{002} が0.337nm未満である黒鉛粒子2の周りに、珪素及び炭素を少なくとも含有するとともに黒鉛粒子2より粒径が小さな複合粒子3が分散して配置され、かつ黒鉛粒子2及び複合粒子3が0.37nm以上の面間隔 d_{002} を有する非晶質炭素膜4によって被覆されてなり、複合粒子3は、結晶質珪素からなるSi微粒子の周りに導電性炭素材が配置されるとともに前記Si微粒子及び前記導電性炭素材が硬質炭素膜により被覆されてなり、前記Si微粒子が、結晶質Si相中に SiO_2 相、SiC相及び SiB_4 相が析出したものであることを特徴とする炭素質材料1を採用する。

【選択図】 図1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2001-058399
受付番号	50100298681
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成13年 3月 5日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	598045058
【住所又は居所】	神奈川県横浜市鶴見区菅沢町2-7
【氏名又は名称】	株式会社サムスン横浜研究所

【代理人】

申請人	
【識別番号】	100064908
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	志賀 正武

【選任した代理人】

【識別番号】	100108578
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	高橋 詔男

【選任した代理人】

【識別番号】	100089037
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	渡邊 隆

【選任した代理人】

【識別番号】	100101465
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	青山 正和

【選任した代理人】

【識別番号】	100094400
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビ ル 志賀国際特許事務所

次頁有

認定・付加情報（続き）

【氏名又は名称】	鈴木 三義
【選任した代理人】	
【識別番号】	100107836
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	西 和哉
【選任した代理人】	
【識別番号】	100108453
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	村山 靖彦

【書類名】 出願人名義変更届

【提出日】 平成13年10月29日

【あて先】 特許庁長官 殿

【事件の表示】

【出願番号】 特願2001- 58399

【承継人】

【識別番号】 590002817

【氏名又は名称】 三星エスディアイ株式会社

【承継人代理人】

【識別番号】 100089037

【弁理士】

【氏名又は名称】 渡邊 隆

【承継人代理人】

【識別番号】 100064908

【弁理士】

【氏名又は名称】 志賀 正武

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008707

【納付金額】 4,200円

【提出物件の目録】

【物件名】 譲渡証 1

【援用の表示】 原本は、同日付提出の特許第3 1 0 3 3 5 7号の特許権
移転登録申請書に添付のものを援用する。

【物件名】 委任状 1

【援用の表示】 同日付提出の包括委任状を援用する。

【ブルーフの要否】 要

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2001-058399
受付番号	50101594744
書類名	出願人名義変更届
担当官	森吉 美智枝 7577
作成日	平成13年11月29日

<認定情報・付加情報>

【承継人】

【識別番号】	590002817
【住所又は居所】	大韓民國京畿道水原市八達區▲しん▼洞575番地

【氏名又は名称】	三星エスディアイ株式会社
----------	--------------

【承継人代理人】 申請人

【識別番号】	100089037
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビル 志賀国際特許事務所

【氏名又は名称】	渡邊 隆
----------	------

【承継人代理人】

【識別番号】	100064908
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビル 志賀国際特許事務所

【氏名又は名称】	志賀 正武
----------	-------

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [598045058]

1. 変更年月日 1998年 3月20日
[変更理由] 新規登録
住 所 神奈川県横浜市鶴見区菅沢町2-7
氏 名 株式会社サムスン横浜研究所

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [590002817]

1. 変更年月日 1999年12月 9日

[変更理由] 名称変更

住 所 大韓民國京畿道水原市八達區▲しん▼洞575番地

氏 名 三星エスディアイ株式会社